

MESTRADO
DECISÃO ECONÓMICA E EMPRESARIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO
TRABALHO DE PROJETO

ESCALONAMENTO DE PACIENTES DE RADIOTERAPIA

MARGARIDA MARIA DE FRIAS RODRIGUES DE OLIVEIRA

OUTUBRO – 2015

MESTRADO EM DECISÃO ECONÓMICA E EMPRESARIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO TRABALHO DE PROJETO

ESCALONAMENTO DE PACIENTES DE RADIOTERAPIA

MARGARIDA MARIA DE FRIAS RODRIGUES DE OLIVEIRA

ORIENTAÇÃO:

PROF.^a DOUTORA MARIA CÂNDIDA VERGUEIRO MONTEIRO CIDADE MOURÃO

OUTUBRO - 2015

Agradecimentos

Escrever um Trabalho Final de Mestrado (TFM) e efetuar toda a investigação que este implica é uma aventura que requer dedicação, esforço e muita vontade por parte de qualquer investigador. Mas requer também um grande suporte por parte de todas as pessoas que fazem parte da nossa vida ou que nós envolvemos no projeto. Nesse sentido, gostaria de deixar desde já uma palavra de agradecimento a todos os que me acompanharam e que estiveram presentes ao longo de todo o projeto.

Gostaria de agradecer aos meus amigos mais relacionados com a área da saúde ou da radioterapia por todas as longas conversas de *brainstorming* e de partilha de conhecimentos que tão úteis foram para a minha escolha e desenvolvimento do tema.

Gostaria de agradecer à Prof.^a Doutora Maria Cândida Mourão por ter aceite orientar este TFM. Agradeço-lhe toda a disponibilidade e ajuda que foram fundamentais para conseguir atingir os meus objetivos e para que este trabalho se concretizasse. Foi um enorme gosto poder trabalhar consigo.

Agradeço às Coordenadoras do Mestrado em Decisão Económica e Empresarial e a todos os docentes a oportunidade de frequentar este Mestrado e tanto aprender com cada um. Tiveram um papel muito importante na minha formação académica que muito contribuiu para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Queria agradecer também a toda a equipa do Hospital da Luz que me recebeu. Ao Dr. Filipe Costa pelo interesse e disponibilidade para o Projeto e aos Técnicos que me acompanharam ao longo dos dias que estive no Hospital e com

quem tanto aprendi: Técnica Carla, Técnico Carlos e a Técnica Margarida. Agradeço todo o conhecimento que me transmitiram e toda a disponibilidade que tiveram.

Agradeço aos meus pais Filipe e Maria Rosa e aos meus irmãos Tiago e João por todo o apoio que me deram ao longo de todo o projeto. Sei que são as presenças sempre presentes com quem posso contar. Obrigada por todo o carinho, disponibilidade, paciência e mimos com que sempre me acolheram.

Resumo

O tema deste Trabalho Final de Mestrado (TFM) centra-se na otimização de um escalonamento de pacientes de radioterapia, no contexto do Hospital da Luz, em Lisboa. Este TFM foi desenvolvido sob a forma de um projeto, tendo como principal objetivo maximizar a oferta de tratamentos por dia, minimizando o tempo de inatividade do serviço no seu horário de funcionamento diário.

Assim, a fase inicial do projeto consistiu em compreender como funcionava o serviço de radioterapia e aprender algumas noções acerca dos tratamentos que podem ser feitos. Posteriormente, procedeu-se à recolha de dados, que correspondem aos tempos específicos de tratamento de cada paciente, tendo em consideração o tumor a ser tratado e a técnica utilizada.

Este estudo foi elaborado tendo como base um escalonamento inicial correspondente aos pacientes em tratamento. Esta afetação é revista semanalmente por forma a planear a semana seguinte. Assim, conhecidos os pacientes que finalizam e os que iniciam tratamento na semana seguinte, pretende-se afetar os vários pacientes às vagas disponíveis. O problema identificado e formulado foi resolvido com recurso ao Solver do Excel. A solução obtida é posteriormente escrita numa folha de Excel com recurso a um programa desenvolvido em VBA.

Palavras-Chave: problemas de escalonamento, Solver/Excel, cuidados de serviços de saúde, planeamento de radioterapia.

Abstract

This Masters' Final Work (MFW) is focused on optimizing a schedule for radiotherapy patients in the context of Hospital da Luz, in Lisbon. My MFW is considered as a project, with the main objective of maximizing the number of treatments per day, while minimizing service idle time within its daily workload. Thus, the initial phase of the project was to understand how the radiotherapy service works and learn about treatments that can be done. Then, it was proceeded to the collection of data, which correspond to specific time of treatment of each patient, taking into account the tumor to be treated and the technique used.

This study was based on an initial schedule according to the patients under treatment. The allocation is reviewed on a weekly basis in order to plan the next week. Thus, knowing the patients who complete and those who start treatment in the following week, the aim is to affect the new patients to available places, as much as possible. The identified and formulated problem was solved via Excel Solver. The solution obtained is subsequently written in an Excel spreadsheet using a program developed in VBA.

Keywords: scheduling problems, Solver/Excel, healthcare services, radiotherapy planning.

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vi
Índice.....	vii
Índice de Figuras	viii
Índice de Quadros	ix
Lista de Abreviaturas.....	x
Capítulo I: Introdução	1
Objetivos do Projeto.....	2
Estrutura do Projeto	2
Capítulo II: Enquadramento do Problema	5
Serviço de Radioterapia no Hospital da Luz	5
Fluxo de pacientes em tratamento de radioterapia	8
Características do problema	9
Restrições do Problema.....	11
Objetivo Identificado.....	12
Recolha e análise de dados	12
Capítulo III: Referencial Metodológico.....	13
Capítulo IV: Definição e Resolução do Caso de Estudo	15
Definição do Caso de Estudo.....	15
Resolução do Caso de Estudo.....	18
Programa de Planeamento da Semana	23
Capítulo V: Conclusões, Limitações e Trabalho Futuro	29
Bibliografia.....	31
Anexos	33
Anexo 1 – Escala Inicial	33
Anexo 2 – Escala Final	34

Índice de Figuras

Figura 1 - Tumores mais frequentes no sexo Masculino e Feminino em 2008 ..	1
Figura 2 – Acelerador Linear	6
Figura 3 - Ficheiro Excel para obtenção e escrita da solução final	24
Figura 4 – Inicialização do programa	24
Figura 5 – Pacientes	25
Figura 6 - Solucao	26
Figura 7 – Restrição	27

Índice de Quadros

Quadro 1 - Exemplificação da numeração de turnos possíveis.....	16
Quadro 2 - Definição de penalizações	18
Quadro 3 - Quadro de novos pacientes a alocar na escala	19
Quadro 4 - Escala inicial de tratamentos de pacientes	20
Quadro 5 - Afetação dos pacientes aos turnos	21
Quadro 6 - Escala final com afetação dos pacientes aos turnos.....	22
Quadro 7 – Escala inicial considerada antes de colocar os novos pacientes ..	33
Quadro 8 - Escala final após afetação dos tratamentos aos turnos	34

Lista de Abreviaturas

RSP – Rerostering Problem

VBA - Visual Basic for Applications

DIBH – Deep Inspiration Breath Hold

IMAT – Intensity Modulated Arc Therapy

IMRT – Intensitu Modulated Radiation Therapy

VMAT – Volumetric Modulated Arc Therapy

SBRT – Stereotactic Body Radiation Therapy

Capítulo I: Introdução

O aparecimento das doenças do foro oncológico é uma realidade que, em termos globais, tem sido alvo de muita investigação e análise devido ao crescente impacto que tem tido na sociedade. Dados da *International Agency for Research on Cancer* (IARC), tendo em consideração o contínuo envelhecimento da população e a sua exposição a fatores de risco, apontam para um aumento de 13,7% de novos casos de cancro na União Europeia até 2030. Ao abordar a realidade em Portugal, também se prevê um crescimento em 12,6% [1]. Todavia, a par com esta realidade, está também um crescimento associado ao desenvolvimento tecnológico que permite não só aumentar a taxa de sobreviventes, bem como melhorar a sua qualidade de vida.

Esta tendência está patente em todas as patologias. Porém, podem identificar-se algumas que apresentam maior incidência na população portuguesa, das quais se destacam os Tumores Malignos na Mama Feminina e na Próstata, como se pode verificar na Figura 1.

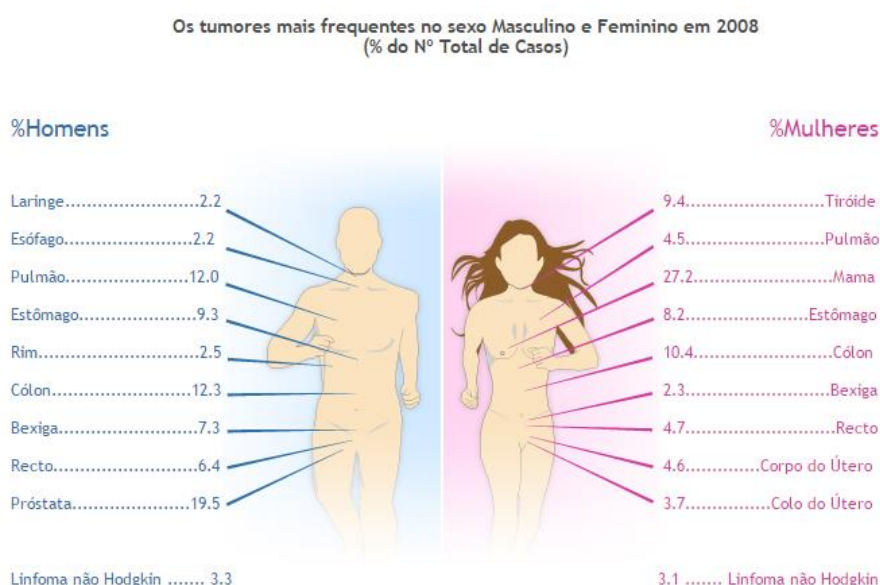


Figura 1 - Tumores mais frequentes no sexo Masculino e Feminino em 2008

Fonte: Registo Oncológico Regional do Norte – 2008, RORENO 2013

Objetivos do Projeto

Este projeto tem como principal objetivo a aplicação dos conhecimentos adquiridos ao longo do Mestrado em Decisão Económica e Empresarial na resolução de um problema da vida real. Com efeito, através do uso de técnicas de Investigação Operacional, procede-se à elaboração de um reescalonamento otimizado de pacientes em tratamentos de radioterapia. O trabalho foi desenvolvido em parceria com o Hospital da Luz. Aliado às necessidades crescentes deste tipo de tratamentos, bem como à importância de prestar o melhor serviço possível e, assim, dar resposta ao maior número de pacientes, este trabalho tem como principal objetivo atender todos os pacientes minimizando os tempos de inatividade do sistema.

Estrutura do Projeto

Para apresentar o projeto e mostrar como se chegou ao objetivo pretendido, elaborou-se a seguinte estrutura.

No capítulo II é apresentado o problema, o serviço de Radioterapia do Hospital da Luz e as suas principais características, nomeadamente o funcionamento do departamento de Radioterapia, identificando-se os tratamentos que são feitos neste serviço. Posteriormente, também são mencionadas as principais restrições a que o problema será sujeito e qual o objetivo identificado.

No capítulo III efetua-se uma revisão bibliográfica sobre o tema com a finalidade de perceber que tipo de abordagens têm sido efetuadas e quais as principais conclusões.

No capítulo IV procede-se à definição formal do problema do estudo de caso e à formalização do mesmo. Posteriormente, apresenta-se a metodologia aplicada para chegar ao resultado final, o qual é analisado e interpretado no mesmo capítulo.

No Capítulo V são apresentadas as principais conclusões do presente estudo, bem como as principais limitações encontradas. São tecidas algumas considerações para estudos e trabalhos futuros.

Por último, é apresentada a bibliografia base consultada para a elaboração deste projeto.

Capítulo II: Enquadramento do Problema

A radioterapia consiste no uso de radiação para o tratamento de tumores malignos e benignos, quer seja para fins curativos quer paliativos. Este não é o único tratamento que se pode fazer quando surgem este tipo de problemas de saúde, havendo situações em que se recorre à quimioterapia e/ou à cirurgia [2].

Os tratamentos de radioterapia podem ser subdivididos em dois tipos: a radioterapia externa e a interna. Na primeira, a fonte de radiação é exterior ao organismo, sendo a radiação emitida na direção do local a tratar. Por outro lado, na radioterapia interna, também denominada por braquiterapia, a fonte de radiação é introduzida no interior do organismo [3].

O plano de tratamento a aplicar a um paciente depende de vários fatores, nomeadamente da localização do tumor, da sua dimensão e do seu estadio, bem como do estado geral de saúde do paciente a tratar [2]. Também destes mesmos fatores irão depender questões como a dosagem, o número de fracionamentos por sessão e o número de sessões de tratamento a realizar. Todavia, os tratamentos não se realizam todos os dias, sendo que, de um modo geral, são apenas feitos durante os dias úteis, para que as células saudáveis, também afetadas no tratamento, tenham tempo de recuperar.

Serviço de Radioterapia no Hospital da Luz

O Departamento de Radioterapia do Hospital da Luz iniciou a sua atividade a 24 de Setembro de 2008 e, desde então, realiza este tratamento em parceria com o Instituto Dr. Idílio de Oliveira, sediado em Lisboa [4].

O corpo clínico é constituído por 10 profissionais: um radio-oncologista, Coordenador do serviço em tempo completo; dois radio-oncologistas em tempo parcial; três físicos (um dos quais em tempo parcial); três técnicos de radioterapia e um assistente de consulta [4].

Este departamento desenvolve a sua atividade durante oito horas por dia (das oito às dezasseis horas e trinta minutos), nos dias úteis. Para efetuar os tratamentos, o Hospital conta com um acelerador linear (na Figura 2 consta um exemplo de um acelerador linear) e tem disponíveis três vestiários para uso dos pacientes que vão chegando para os tratamentos.



Figura 2 – Acelerador Linear

Cada paciente faz por dia um único tratamento, cuja duração varia consoante a técnica utilizada e o volume alvo onde a radiação é aplicada. A duração total de uma sessão varia também com a necessidade de fazer ou não imagem para verificar quer as condições de posicionamento e imobilização, quer se se verificaram alterações do volume alvo.

Os tratamentos são feitos durante quinze dias úteis, em média. Porém, este período pode variar, sendo planeado *a priori* consoante a patologia a tratar e a técnica a utilizar.

O Hospital da Luz prima pelo avanço a nível do equipamento e da tecnologia existentes. No que concerne ao tratamento de radioterapia externa, conta com um acelerador linear, como referido. Relativamente às técnicas utilizadas, estas incorporam algumas das mais sofisticadas e caracterizam-se pela sua precisão, garantindo o tratamento do tumor com menores margens, diminuindo assim a área atingida de tecidos saudáveis [3]. Para garantir este rigor, é também importante salientar o papel dos físicos, cujo contributo para a exatidão dos tratamentos através de cálculos computacionais é fundamental no tratamento individualizado de cada paciente.

Com efeito, as principais técnicas terapêuticas disponíveis são: técnica de radioterapia conformacional 3D; técnica de radioterapia em respiração profunda por inspiração suspensa (DIBH); técnica de radioterapia de intensidade modulada por arcos dinâmicos (IMAT); técnica de radioterapia de intensidade modulada (IMRT); técnica de arcterapia de intensidade modulada (VMAT); técnica de radioterapia estereotóxica craniana e corporal (SBRT); técnica de radiocirurgia; técnica de braquiterapia de baixa e de alta taxa de dose [4].

A escolha da técnica terapêutica a aplicar irá de encontro às especificidades de cada tumor, bem como do caso concreto de cada doente.

Fluxo de pacientes em tratamento de radioterapia

No Hospital da Luz, o Departamento de Radioterapia acompanha cada paciente em todo o seu processo de tratamento, desde que este dá entrada para iniciar os tratamentos de radioterapia até ao momento em que os finaliza.

Assim, inicialmente, cada paciente tem uma primeira consulta com o radio-oncologista, que analisa a especificidade do problema de saúde e decide o tratamento e a respetiva dosagem, bem como a frequência dos tratamentos. Posteriormente, o paciente tem uma sessão com os técnicos de radioterapia, para serem feitas as marcações no seu corpo, indicando a área onde a radiação irá incidir. Nessa altura, o doente é informado sobre todo o processo a que irá ser submetido, nomeadamente: os principais efeitos secundários; os cuidados a ter nos dias que for sujeito ao tratamento; formas de poder minimizar a marca que o tratamento deixa no corpo; atividades físicas ou gestos a evitar, cuidados com a alimentação, entre outros. É também esta a ocasião para o doente esclarecer todas as suas dúvidas e verificar quais os comportamentos da sua rotina diária que pode manter e quais os comportamentos a evitar ou a juntar.

De seguida, procede-se à marcação dos tratamentos, tendo em consideração a disponibilidade do paciente, o tipo de tratamento e também as vagas existentes na escala diária.

No decorrer dos tratamentos, regra geral, a rotina diária não se altera. Com efeito, o paciente chega ao local do tratamento na hora da sua marcação. De seguida, um técnico vai ao seu encontro informando-o que já pode dar entrada. Este dirige-se ao vestiário indicado pelo técnico, que lhe dá o material necessário (bata, botinhas ou algum material mais específico do tratamento a que se vai

sujeitar). Quando pronto, o doente entra na sala onde se realiza o tratamento, a qual já se encontra preparada para o receber. De seguida, é posicionado consoante as marcações e dá-se então início ao tratamento. Durante o mesmo, devido à quantidade muito grande de radiação presente na sala, o paciente fica sozinho na sala. No entanto, fora da sala, os técnicos dispõem do material necessário para controlar o tratamento, conseguindo ver, ouvir e falar com o paciente, caso necessário.

Após a finalização do tratamento, o técnico vai ao encontro do paciente para o auxiliar e para o encaminhar de volta ao vestiário. Durante esse mesmo processo, outro paciente é chamado e dirige-se para outro vestiário para se preparar para o respetivo tratamento. Entretanto, a sala de tratamentos é preparada para o novo tratamento que se irá fazer.

Características do problema

O problema de reescalonamento que é estudado tem especificidades que devem ser tidas em consideração para melhor adequação da solução à resolução do caso de estudo. Supõe-se que as escalas, como habitualmente, são elaboradas todas as sextas-feiras. Os novos pacientes, a incluir em primeiro tratamento na semana seguinte estão identificados na sexta-feira e pretende-se a sua inclusão na atual escala (inicial), sem alterar os horários dos tratamentos dos pacientes mais antigos. Por outro lado, cada novo paciente já tem identificado o tipo de tratamento, o dia em que o mesmo deve iniciar, bem como a sua preferência de horário. Também na sexta-feira são já conhecidos os pacientes que terminam o tratamento na semana seguinte, bem como o último

dia de tratamento. Assim, a escala inicial para a semana seguinte inclui os pacientes que permanecem em tratamento e os horários vagos para inclusão de novos pacientes, aqui designados por turnos. Um turno, neste trabalho, representa um intervalo de tempo com uma amplitude fixa e igual a 15 minutos.

Características dos pacientes

- 1 –Cada paciente só faz um tratamento por dia.
- 2 –Cada paciente só ocupará um turno por dia.
- 3 –Cada paciente faz os tratamentos sempre no mesmo turno, ou seja, quando é afeto a um determinado turno de um dia ficará afeto a esse mesmo turno nos dias seguintes, até ao final do tratamento.
- 4 –A afetação de um novo paciente tenta favorecer a sequência entre pacientes que necessitem dos mesmos acessórios para que a transição entre pacientes possa ser menos morosa. Assim, tenta-se que o turno que o novo paciente é afeto anteceda ou suceda o turno de outro paciente com tratamento semelhante.
- 5 –O tempo de preparação da sala entre pacientes é contabilizado na duração do tratamento de cada novo paciente a incluir no plano. Assim, se o paciente for inserido após um paciente do mesmo tipo o tempo é inferior ao que será considerado se o tratamento alterar.
- 6 –O primeiro tratamento considerado pressupõe a realização prévia da consulta com o médico Radio-Oncologista e que as marcações necessárias no corpo do paciente também já foram feitas numa sessão anterior.

Características do Acelerador Linear

- 1 –O acelerador linear só pode tratar um doente de cada vez.
- 2 –O aparelho é sempre adaptado às especificidades de cada tratamento.

Características dos tratamentos

- 1 –São apenas considerados tratamentos de radioterapia externa.
- 2 –São considerados os tipos de tratamento mais recorrentes: IMRT e VMAT.
- 3 –Embora a duração do tratamento de cada paciente dependa do respetivo tipo de tratamento, neste trabalho foi considerado que intervalos de 15 min eram suficientes para todos os tipos de tratamentos.
- 4 –Os tratamentos só são efetuados em dias úteis.
- 5 –Diariamente, os tratamentos iniciam às 8 horas e terminam às 16 horas e 30 minutos, podendo, excecionalmente, considerar-se um turno prévio (7h45) e turnos após as 16h30.

Restrições do Problema

Este projeto pretende manter todos os pressupostos o mais perto possível da realidade observada no hospital. Assim, foram identificadas as seguintes restrições do problema em estudo:

- 1 –Por dia, cada turno (intervalo de tempo de 15 min) tem apenas um doente afeto a si.
- 2 –Quando um paciente é afeto a um turno, nos dias seguintes, esse turno será sempre ocupado pelo mesmo paciente. Esse paciente ocupá-lo-á durante quinze sessões consecutivas em tempo útil (influenciando assim o escalonamento inicial das semanas seguintes).

3 –Cada doente só poderá ocupar um turno por dia.

4 –Todos os pacientes têm que ser afetos a um turno no dia previamente definido, mesmo que essa situação implique acabar após as 16h30.

Objetivo Identificado

O principal objetivo do presente projeto consiste em escalonar novos pacientes que vão dar entrada no serviço de Radioterapia do Hospital da Luz, para que todos os tratamentos sejam escalados, minimizando os tempos de inatividade que vão aparecendo na escala, dando assim resposta a um maior número de pacientes.

Recolha e análise de dados

Por forma a conseguir perceber a realidade, às vezes tão distante, do que é o serviço de radioterapia num hospital, o primeiro passo, após a escolha do tema, consistiu em recolher os principais dados no hospital.

Com efeito, as visitas feitas ao hospital permitiram, numa primeira fase, perceber toda a dinâmica patente neste serviço e, numa segunda fase, compreender as especificidades inerentes aos tratamentos. Quando se trata de uma problemática relacionada com a saúde e bem-estar dos pacientes, é crucial estar próximo e consciente da realidade abordada para uma melhor compreensão das variáveis críticas que podem comprometer, ou não, o sucesso de um dia de trabalho num determinado serviço.

Capítulo III: Referencial Metodológico

“Scheduling is the process of formulating a plan to indicate which jobs will be completed within a given time scale. The scheduling activity is one of the most complex tasks in operations management. Schedulers must deal with several different types of resource, most with different constraints, simultaneously.” [5]

Com o desenvolvimento tecnológico e o surgimento de novas técnicas e meios para melhorar a performance das empresas, é cada vez mais importante acompanhar esta evolução através do uso otimizado das mesmas. A área da saúde é uma das temáticas que se encontra em constante atualização e desenvolvimento. Assim, é importante também no contexto dos serviços de saúde desenvolver modelos otimizados e métodos para melhorar os serviços prestados aos pacientes e usar, de forma eficiente, os recursos de que dispomos. Neste âmbito, têm sido aprofundados cada vez mais estudos com esta finalidade. De facto, conseguem encontrar-se publicações científicas sobre escalonamento de enfermeiros [6], [7], [8], escalonamento de tratamentos de radioterapia [10], escalonamento de cirurgias [9], [11], [12], entre outros. No entanto, pelas especificidades do problema em si, o escalonamento de pacientes de radioterapia requer um tratamento e uma adequação da metodologia às suas particularidades.

“Typically, the goal of rerostering is to rebuild the schedule while minimising the number of deviations to the original Schedule as deviations may not be very well accepted by the workforce” [6].

Os problemas de reescalonamento, também denominados “rerostering problems (RSP)” [7], também têm sido alvo de interesse. As escalas efetuadas têm frequentemente necessidade de ser atualizadas (refeitas) com uma dada periodicidade, visto que a disponibilidade das pessoas e as necessidades dos serviços não são constantes. Ainda neste sentido, e tendo em consideração que as escalas efetuadas estão inerentes à disponibilidade das pessoas e suscetíveis aos imprevistos da vida de cada um, surge a necessidade de ajustar escalas para encontrar um segundo plano e não comprometer a rotina diária de um dado serviço. É importante que estas alterações não modifiquem muito a estrutura e os horários das restantes pessoas, para que não seja necessário reestruturar planos já implementados e garantidos [6]. Com efeito, na área da saúde, já foram exploradas algumas abordagens do problema de reescalonamento, nomeadamente o reescalonamento de enfermeiros [7], [8].

Capítulo IV: Definição e Resolução do Caso de Estudo

Definição do Caso de Estudo

Neste capítulo será apresentada a formalização desenvolvida para solucionar o problema em estudo. Este, resolvido todas as sextas-feiras, pretende escalonar todos os novos pacientes a iniciar tratamento na semana seguinte a cada sexta-feira. O modelo parte assim de um escalonamento inicial onde estão fixos e ocupados os turnos dos pacientes que se mantêm em tratamento. Consideram-se ainda conhecidos os novos pacientes a incluir no sistema durante a próxima semana (5 dias úteis). Cada novo paciente p é caracterizado por um tipo de tratamento, k_p , e um dia a que tem de iniciar o tratamento, d_p .

O número máximo de turnos disponíveis para incluir um novo tratamento num dia é calculado a partir do último dia ($d = 5$) do escalonamento inicial. Assim, se no dia 5 (sexta-feira) existem 7 turnos vagos, os turnos de cada dia são numerados de 1 a 7. Contudo, nos dias anteriores a $d = 5$ um ou mais desses turnos pode não ter vaga e por isso não existir. Note-se que ao longo da semana o número de vagas nunca diminui no escalonamento inicial, pois há doentes que vão terminando o tratamento. No Quadro 1 apresenta-se um mapa possível em que se encontram riscados os turnos ocupados por tratamentos a pacientes do escalonamento inicial. Considerando o último dia da semana o dia 5, são 7 os turnos disponíveis. Contudo, os turnos disponíveis, por exemplo, no dia $d = 3$ são: 1, 3, 4 e 6. Note-se que nos dias 1 e 2 não se pode considerar o turno 2 por não estar vago até ao final da semana. Se necessário, para que seja possível escalonar todos os pacientes, podem ser considerados mais turnos para além dos já admitidos (no exemplo, 8, 9, ...) no final do dia e mais um no início (antes

do turno 1, designado por turno 0). O número de turnos extra a criar será calculado em função do número de pacientes novos em cada dia e do número de turnos vagos nesse mesmo dia.

$d = 1$	$d = 2$	$d = 3$	$d = 4$	$d = 5$
		1	1	1
				2
	3	3	3	3
	4	4	4	4
			5	5
6	6	6	6	6
			7	7

Quadro 1 - Exemplificação da numeração de turnos possíveis

Para a formulação do problema foram definidos os conjuntos, índices e parâmetros que se apresentam de seguida.

Conjuntos

$K = \{\text{tratamentos possíveis}\};$

$P = \{\text{pacientes a iniciar tratamento}\};$

$T_d = \{\text{turnos com vaga disponível no dia } d\}.$

Índices

k – tipo de tratamento ($k \in K$);

p – paciente a iniciar tratamento ($p \in P$)

d – dia da semana ($d = 1, \dots, 5$);

t_d – turno do dia d ($t_d \in T_d$);

Parâmetros

k_p – tipo de tratamento do paciente p ($k_p \in K$);

d_p – dia a que o paciente $p \in P$ tem que iniciar o tratamento ($d_p = 1, \dots, 5$);

$c_p^{t_d d}$ – penalização (ou custo) de inserir o paciente p , com tratamento k_p , no turno t_d do dia d . Esta penalização vai depender do tratamento que antecede e sucede uma dada vaga disponível e o tratamento do novo paciente a ser afeto no dia a que este inicia o tratamento, d_p . Contudo, mantém-se constante para os dias seguintes ao de início de tratamento, ou seja, $c_p^{t_d d} = c_p^{t_d d_p}$, $d > d_p$. Os cenários de penalizações (custos) serão explicados na resolução do caso de estudo.

Variáveis Binárias

Define-se, para cada paciente, $p \in P$, a iniciar tratamento k_p no dia d_p :

$$x_p^{t_d d} = \begin{cases} 1 & \text{se o paciente } p \text{ é afeto ao turno } t_d \text{ do dia } d, \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}, \quad \forall d \geq d_p$$

Modelo:

$$\min Z = \sum_{p \in P} \sum_{d=d_p}^5 \sum_{t_d \in T_d} c_p^{t_d d} x_p^{t_d d} \quad (1)$$

$$\text{s. a: } \begin{cases} \sum_{p \in P} x_p^{t_d d} \leq 1 & t_d \in T_d; d = 1, \dots, 5 \end{cases} \quad (2)$$

$$\sum_{t_d \in T_{d_p}} x_p^{t_d d_p} = 1 \quad p \in P \quad (3)$$

$$x_p^{t_d d} \leq x_p^{t_d d+1} \quad p \in P; t_d \in T_d; d = d_p, \dots, 4 \quad (4)$$

$$x_p^{t_d d} \in \{0,1\} \quad p \in P; t_d \in T_d; d_p \leq d \leq 5 \quad (5)$$

A função objetivo (1) visa minimizar a penalização de inserir os novos doentes no sistema.

Nas restrições (2), garante-se que a cada turno de cada dia é afeto um doente no máximo. Em (3) garante-se que cada doente, p , é afeto a um turno no dia pretendido, d_p . Nas restrições (4) impõe-se que cada doente, p , é afeto sempre ao mesmo turno, t_d , a que for afeto no dia em que inicia o tratamento, d_p . Em (5) define-se o domínio das variáveis.

Resolução do Caso de Estudo

Penalizações

A definição da penalização associada a cada tratamento a afetar a um turno está dependente do tratamento que o antecede e do que o sucede, como se pode observar no Quadro 2 em que se fixa $C = 15$. Neste caso, supõe-se que se está a afetar um paciente com um tratamento k_p num turno.

Penalização	Sequência entre tratamentos
C	Se o novo paciente é afeto após um paciente com o mesmo tipo de tratamento no escalonamento inicial, k_p
$3C$	Se o novo paciente é afeto após uma vaga, mas próximo de um paciente com o mesmo tipo de tratamento, k_p
$4C$	Se o novo paciente é afeto após um paciente com o tipo de tratamento diferente de k_p

Quadro 2 - Definição de penalizações

Considerou-se um valor de C igual a 15 unidades. O valor do objetivo vai pois depender dos tratamentos que antecederem e sucedem cada um dos novos pacientes.

Tendo em consideração os dados recolhidos e a realidade observada no Hospital, o problema em estudo foi efetuado supondo a entrada de 15 novos pacientes, ao longo de 5 dias diferentes e que têm 9 tipos de tratamentos diferentes, como se pode verificar no Quadro 3.

Pacientes	Tratamento	Dia
1	4 - Estômago - VMAT	1
2	3 - Próstata - VMAT	1
3	8 - Mama - VMAT (DIBH)	1
4	9 - Recto - VMAT	1
5	1 - Pulmão - VMAT	2
6	5 - Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot	2
7	7 - Recto - IMRT - Stepnshoot	2
8	7 - Recto - IMRT - Stepnshoot	2
9	6 - Mama - VMAT (sem DIBH)	2
10	8 - Mama - VMAT (DIBH)	3
11	5 - Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot	3
12	3 - Próstata - VMAT	3
13	3 - Próstata - VMAT	4
14	2 - Próstata - IMRT - Stepnshoot	4
15	8 - Mama - VMAT (DIBH)	5

Quadro 3 - Quadro de novos pacientes a alocar na escala

Neste exemplo, a escolha do tipo de novos tratamentos foi também feita tendo em conta a realidade, ou seja, os tipos de tratamento onde se verifica mais necessidade, tanto no país em geral, como neste Hospital em concreto. Nesta divisão de tratamentos, optou-se por dividir os mesmos consoante a técnica utilizada dado que esta faz variar os tempos de tratamento.

Caracterizados os novos pacientes a incluir há que considerar a escala inicial com os atuais pacientes onde se pretende efetuar o escalonamento dos novos. O Quadro 4 mostra a escala inicial admitida (O Anexo 1 apresenta esta escala em detalhe), em que se apresentam apenas os tipos de tratamento.

Horas	turno	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
	0					
8h	1	1	1	1	1	1
8h15	2	2	2	2	2	2
8h30	3	2	2	2	2	2
8h45	4					
9h	5	3	3	3	3	3
9h20	6					
9h40	7	3	3			
10h	8	4	4	4	4	4
10h20	9					
10h45	10	5				
11h	11	5	5	5		
11h20	12	6	6	6	6	6
11h45	13	6	6			
12h	14					
Almoço	15					
13h30	16	7	7	7	7	7
13h45	17	7				
14h	18					
14h30	19	8	8	8	8	8
15h	20	8	8	8		
15h15	21					
15h30	22	9	9	9	9	9
15h45	23	9	9	9	9	9
16h	24					
16h15	25					

Quadro 4 - Escala inicial de tratamentos de pacientes

A formalização apresentada no início do capítulo permite identificar como se podem distribuir todos os novos pacientes nos vários turnos disponíveis, por forma a minimizar a penalização total do escalonamento, relacionada com a dissemelhança entre tratamentos sucessivos.

Após a aplicação do Solver do Excel (MS Excel 2010), o resultado do escalonamento foi o que se pode observar no Quadro 5. Como se pode verificar, a instância gerada considera 15 novos pacientes a escalonar nos 5 dias da semana, em não mais de 5 turnos por dia.

Pacientes	Tratamento	Dia	Turno
1	4 - Estômago - VMAT	1	9
2	3 - Próstata - VMAT	1	6
3	8 - Mama - VMAT (DIBH)	1	21
4	9 - Recto - VMAT	1	24
5	1 - Pulmão - VMAT	2	0
6	5 - Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot	2	10
7	7 - Recto - IMRT - Stepnshoot	2	15
8	7 - Recto - IMRT - Stepnshoot	2	17
9	6 - Mama - VMAT (sem DIBH)	2	14
10	8 - Mama - VMAT (DIBH)	3	18
11	5 - Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot	3	25
12	3 - Próstata - VMAT	3	7
13	3 - Próstata - VMAT	4	11
14	2 - Próstata - IMRT - Stepnshoot	4	4
15	8 - Mama - VMAT (DIBH)	5	20

Quadro 5 - Afetação dos pacientes aos turnos

A escala final com a identificação dos turnos em que os pacientes vão fazer tratamento é a que se pode observar no Quadro 6 (o Anexo 2 apresenta o detalhe desta escala).

Horas	turno	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
7h45	0		Paciente 5	Paciente 5	Paciente 5	Paciente 5
8h	1	1	1	1	1	1
8h15	2	2	2	2	2	2
8h30	3	2	2	2	2	2
8h45	4				Paciente 14	Paciente 14
9h	5	3	3	3	3	3
9h20	6	Paciente 2	Paciente 2	Paciente 2	Paciente 2	Paciente 2
9h40	7	3	3	Paciente 12	Paciente 12	Paciente 12
10h	8	4	4	4	4	4
10h20	9	Paciente 1	Paciente 1	Paciente 1	Paciente 1	Paciente 1
10h45	10	5	Paciente 6	Paciente 6	Paciente 6	Paciente 6
11h	11	5	5	5	Paciente 13	Paciente 13
11h20	12	6	6	6	6	6
11h45	13	6	6			
12h	14		Paciente 9	Paciente 9	Paciente 9	Paciente 9
Almoço	15		Paciente 7	Paciente 7	Paciente 7	Paciente 7
13h30	16	7	7	7	7	7
13h45	17	7	Paciente 8	Paciente 8	Paciente 8	Paciente 8
14h	18			Paciente 10	Paciente 10	Paciente 10
14h30	19	8	8	8	8	8
15h	20	8	8	8		Paciente 15
15h15	21	Paciente 3	Paciente 3	Paciente 3	Paciente 3	Paciente 3
15h30	22	9	9	9	9	9
15h45	23	9	9	9	9	9
16h	24	Paciente 4	Paciente 4	Paciente 4	Paciente 4	Paciente 4
16h15	25			Paciente 11	Paciente 11	Paciente 11

Quadro 6 - Escala final com afetação dos pacientes aos turnos

Esta afetação resultou numa penalização total final de 345 unidades. Este valor decorreu da soma do valor das penalizações totais de cada dia. Assim, quantos mais pacientes forem alocados a um turno em que o tratamento que o sucede e precede é o mesmo, mais baixo será o valor desta penalização. Da mesma forma, quanto maior for o número de pacientes cujo turno precede ou sucede um tratamento diferente, maior será a penalização. Este valor tem uma função comparativa na medida em que permite comparar os vários reescalamentos que se poderão efetuar, tendo em conta as características específicas do problema e o número de pacientes a introduzir.

Após a afetação dos pacientes aos turnos, pode constatar-se que a escala foi totalmente preenchida, ficando apenas por afetar turnos que não permitiam a continuidade dos tratamentos em dias consecutivos. Os pacientes foram todos afetados a um turno, sendo que apenas 3 pacientes (os pacientes 11, 12 e 13) não ficaram alocados a um turno com tratamentos do mesmo tipo consecutivos.

Foi criado um programa em VBA após a resolução do problema no Solver que procura ir ao encontro das necessidades diárias de quem precisa de planejar este serviço. O mesmo será explicado no ponto seguinte.

Programa de Planeamento da Semana

Visto se pretender que o resultado final seja para uso diário dos técnicos que necessitam de identificar os pacientes que vão tratar, fez-se um programa em VBA do MS Excel para colocar os novos pacientes na escala inicial (Quadro 4). Este programa, verifica a que turno é que cada novo paciente fica afetado, como resultado da resolução do modelo de PLI, e inclui-o na escala, como a que se encontra no Anexo 2.

Assim, para inicializar o programa, abre-se o documento “Escala Semanal” e carrega-se no botão denominado “PLANEAMENTO”, presente na primeira folha (“Escala Inicial”), como se ilustra na Figura 3. A “Escala Inicial” corresponde à escala onde se vão afetar os novos pacientes. Esta tem de ser atualizada no final de cada semana, por quem faz o planeamento da semana seguinte, por forma a serem consideradas as alterações decorrentes de pessoas que terminam o seu tratamento ou que necessitam de fazer alguma alteração ao seu plano de tratamentos.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Horas	turno	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	
2	7h45	0						
3	8h	1	Pulmão - VMAT	Pulmão - VMAT	Pulmão - VMAT	Pulmão - VMAT	Pulmão - VMAT	
4	8h15	2	Próstata - IMRT - Stepshoot	Próstata - IMRT - Stepshoot	Próstata - IMRT - Stepshoot	Próstata - IMRT - Stepshoot	Próstata - IMRT - Stepshoot	
5	8h30	3	Próstata - IMRT - Stepshoot	Próstata - IMRT - Stepshoot	Próstata - IMRT - Stepshoot	Próstata - IMRT - Stepshoot	Próstata - IMRT - Stepshoot	
6	8h45	4						
7	9h	5	Próstata - VMAT	Próstata - VMAT	Próstata - VMAT	Próstata - VMAT	Próstata - VMAT	
8	9h20	6						
9	9h40	7	Próstata - VMAT	Próstata - VMAT				
10	10h	8	Estômago - VMAT	Estômago - VMAT	Estômago - VMAT	Estômago - VMAT	Estômago - VMAT	
11	10h20	9						
12	10h45	10	no - Corda Vocal - IMRT - Stepshoot	no - Corda Vocal - IMRT - Stepshoot	no - Corda Vocal - IMRT - Stepshoot			
13	11h	11	no - Corda Vocal - IMRT - Stepshoot	no - Corda Vocal - IMRT - Stepshoot	no - Corda Vocal - IMRT - Stepshoot			
14	11h20	12	Mama - VMAT (sem DIBH)	Mama - VMAT (sem DIBH)	Mama - VMAT (sem DIBH)	Mama - VMAT (sem DIBH)	Mama - VMAT (sem DIBH)	
15	11h45	13	Mama - VMAT (sem DIBH)	Mama - VMAT (sem DIBH)	Mama - VMAT (sem DIBH)			
16	12h	14						
17	Almoço	15						
18	13h30	16	Recto - IMRT - Stepshoot	Recto - IMRT - Stepshoot	Recto - IMRT - Stepshoot	Recto - IMRT - Stepshoot	Recto - IMRT - Stepshoot	
19	13h45	17	Recto - IMRT - Stepshoot					
20	14h	18						
21	14h30	19	Mama - VMAT (DIBH)	Mama - VMAT (DIBH)	Mama - VMAT (DIBH)	Mama - VMAT (DIBH)	Mama - VMAT (DIBH)	
22	15h	20	Mama - VMAT (DIBH)	Mama - VMAT (DIBH)	Mama - VMAT (DIBH)			
23	15h15	21						
24	15h30	22	Recto - VMAT	Recto - VMAT	Recto - VMAT	Recto - VMAT	Recto - VMAT	
25	15h45	23	Recto - VMAT	Recto - VMAT	Recto - VMAT			
26	16h	24						
27	16h15	25						
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								

Figura 3 - Ficheiro Excel para obtenção e escrita da solução final

Ao carregar no botão “PLANEAMENTO”, é apresentada a Figura 4 que mostra as opções disponíveis, ou seja: “Escala Inicial”; “Lista de Pacientes”; Executar”; “Sair”.



Figura 4 – Inicialização do programa

Quando o técnico responsável por preparar a escala da semana seguinte quiser saber onde é que cada novo paciente vai ser alocado, basta carregar no botão “Executar”. O programa em VBA é executado e preenche a escala com a solução encontrada pelo Solver/Excel, e escrita na folha “Escala”. A escala preenchida pelo programa em VBA, para o exemplo considerado, é a que se pode observar no Anexo 2.

Esta escala é pois o resultado da resolução do modelo escrito no Solver/Excel. Para a obter, é necessário editar a informação constante na folha “Pacientes” e “Solucao” com os dados sobre cada paciente novo a incluir e o preenchimento de cada dia, respetivamente.

Na Figura 5, pode observar-se a lista de pacientes que vão iniciar tratamento, na qual consta o paciente, o tratamento que irá fazer, bem como o ID do respetivo tratamento.

Pacientes	Tipo de Tratamento	ID do Tratamento
1	Estômago - VMAT	4
2	Próstata - VMAT	3
3	Mama - VMAT (DIBH)	8
4	Recto - VMAT	9
5	Pulmão - VMAT	1
6	Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot	5
7	Recto - IMRT - Stepnshoot	7
8	Recto - IMRT - Stepnshoot	7
9	Mama - VMAT (sem DIBH)	6
10	Mama - VMAT (DIBH)	8
11	Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot	5
12	Próstata - VMAT	3
13	Próstata - VMAT	3
14	Próstata - IMRT - Stepnshoot	2
15	Mama - VMAT (DIBH)	8

Figura 5 – Pacientes

Na figura 6, exemplifica-se qual a informação necessária para poder alocar o paciente 1, que inicia os seus tratamentos no dia 1.

npacientes	paciente	turno	penalização	afetação
4	1	0	60	0
nturnos	1	4	60	0
9	1	6	60	0
	1	9	15	1
	1	14	60	0
	1	15	60	0
	1	18	60	0
	1	21	60	0
	1	24	60	0

Figura 6 - Solucao

Assim, após ter a lista de pacientes elaborada, pode-se completar as informações necessárias na sheet “Solucao”. Onde consta “npacientes”, deve colocar-se o número de pacientes que vai iniciar tratamento nesse dia. No exemplo, serão 4 pacientes. Posteriormente, em “nturnos”, coloca-se o número de turnos disponíveis nesse dia. Neste caso serão 9 turnos. Na coluna “paciente”, identifica-se cada um dos quatro pacientes. Na Figura 6 exemplifica-se o preenchimento da folha para o paciente 1. Na coluna “turno”, colocam-se os turnos disponíveis naquele dia, onde poderá ser alocado cada um dos quatro pacientes. Na coluna “penalização”, colocam-se, manualmente, as penalizações de afetar o paciente em cada turno, consoante a sequência da escala inicial e o tipo de tratamento do paciente (como definido no Quadro 2).

Posteriormente, terão de se adaptar as restrições do Solver à nova realidade, consoante os turnos disponíveis e o número de pacientes que vão ser considerados por dia. No exemplo da Figura 7, pode observar-se que, no caso

da imposição de afetar cada paciente a um só turno, é necessário adaptar o número de pacientes, bem como a fórmula de Excel escrita, consoante o número de turnos disponíveis no dia. Esta fórmula remete a toda a coluna “afetação” que consta na Figura 6. No entanto, caso haja mudança do número de turnos, a fórmula terá de ser alterada para que a soma escrita seja igual a 1, garantindo assim que todos os pacientes são afetados.

	L	M	N	O	P
4	npacientes	paciente	turno	penalização	afetação
5	=CONTAR(J5:J8)	1	0	60	0
6	nturnos	1	4	60	0
7	=CONTAR(M5:M13)	1	6	60	0
8		1	9	15	1
9		1	14	60	0
10		1	15	60	0
11		1	18	60	0
12		1	21	60	0
13		1	24	60	0
61					
62	(3) cada paciente é afeto a um só turno				
63	p1	=SOMA(P5:P13)	=	1	
64	p2	=SOMA(P14:P22)	=	1	
65	p3	=SOMA(P23:P31)	=	1	
66	p4	=SOMA(P32:P40)	=	1	
67	p5	=SOMA(U5:U15)	=	1	
68	p6	=SOMA(U16:U26)	=	1	
69	p7	=SOMA(U27:U37)	=	1	
70	p8	=SOMA(U38:U48)	=	1	
71	p9	=SOMA(U49:U59)	=	1	
72	p10	=SOMA(Z5:Z16)	=	1	
73	p11	=SOMA(Z17:Z28)	=	1	
74	p12	=SOMA(Z29:Z40)	=	1	
75	p13	=SOMA(AE5:AE18)	=	1	
76	p14	=SOMA(AE19:AE3)	=	1	
77	p15	=SOMA(AJ5:AJ18)	=	1	

Figura 7 – Restrição

Após as alterações referidas, pode obter-se a solução resolvendo o modelo no Solver. Na coluna “afetação” pode ver-se o resultado final, na medida em a célula onde aparecer um “1” corresponde ao turno a que o paciente deve ser afetado.

A solução resultante do Solver/Excel, refletir-se-á na escala a preencher pelo VBA.

Relativamente às restantes funcionalidades da aplicação, ao carregar no botão “Lista de Pacientes”, o programa remete para a lista dos novos pacientes a incluir na próxima semana, que terão de ser inseridos pelo técnico à medida que os pacientes vão surgindo. Esta lista é a que se observa na Figura 5 e que mostra a informação referente à identificação do paciente, qual o tratamento que irá fazer e o dia em que iniciará o mesmo.

Ao carregar no botão “Escala Inicial”, é possível ver a escala considerada sem qualquer alteração.

Por último, encontra-se o botão “Sair” cujo objetivo é sair do programa.

A resolução apresentada é apenas um exemplo de uma afetação com os dados fictícios referidos. No entanto, constitui um exemplo bastante próximo da realidade observada. Os dados reais não serão apresentados por uma questão de sigilo.

Capítulo V: Conclusões, Limitações e Trabalho Futuro

A aplicação de técnicas de Investigação Operacional em áreas da saúde é uma realidade em crescimento e que em muito beneficia os resultados por parte da saúde.

Neste estudo também se pretendeu demonstrar, através de um exemplo, como pode funcionar a sinergia entre ambas as áreas. Com efeito, após a compreensão da temática e a revisão bibliográfica, procedeu-se à aplicação do modelo escolhido para resolver o problema. O resultado obtido mostra uma forma possível de alocar os pacientes na escala, cumprindo assim os objetivos propostos inicialmente.

No entanto, há algumas limitações ao problema que não puderam ser consideradas por uma questão de simplificação do mesmo e também por serem fatores não quantitativos.

Tratando-se de um problema ligado à saúde, em concreto a uma doença que tanto fragiliza as pessoas, há sempre imprevistos que podem ocorrer e que não são possíveis de contabilizar, embora possam atrasar o processo de tratamentos.

Outra limitação, patente neste tipo de tratamentos, está inerente à mobilidade das pessoas. Há pacientes que se encontram acamados no Hospital ou que estão em cadeiras de rodas, com mobilidade mais reduzida, necessitando de um auxílio e de uma atenção diferente, também difícil de contabilizar.

Adicionalmente, deve também salientar-se o facto de não ser contemplada em nenhuma restrição a disponibilidade do paciente, assumindo assim que este poderá vir à hora marcada.

Assim, num trabalho futuro poderia ser colocada toda a escala em VBA, e considerar mais restrições para melhor retratar a realidade que se quer desenvolver. Seria relevante considerar a hipótese de reescalonamento perante a avaria da máquina ou falta de um paciente e medir o impacto que esta situação tem na semana seguinte.

Seria igualmente benéfico para o planeamento do serviço poder ter uma visão mais geral e alargada das datas dos tratamentos. Nesse sentido, poder-se-ia aplicar o programa a um mês ao invés de uma semana.

Por forma a dar resposta a uma limitação que faz parte da realidade deste serviço, poder-se-ia considerar que os pacientes com dificuldade de mobilidade constituem um segmento específico e que serão alocados a turnos fixos, considerando-se assim duas classes de pacientes.

Em suma, dada a facilidade do uso que este programa oferece e visto ser uma aplicação gratuita, disponível em todos os computadores, seria bastante favorável para o planeamento dos tratamentos semanais que fosse possível a interação entre os dados incluídos no software do Hospital e o Solver do Excel. Tal permitiria agilizar quer o planeamento semanal quer o replaneamento, caso seja necessário alterar o escalonamento inicial a meio de uma semana.

Bibliografia

- [1] Direcção Geral da Saúde, “Portugal – Doenças Oncológicas em Números – 2013”, Lisboa, Outubro de 2013;
- [2] D. Conforti, F. Guerriero, R. Guido (2010), *Non-block scheduling with priority for radiotherapy treatments*, European Journal of Operational Research, 201, 289–296;
- [3] “Hospital da Luz – Radioterapia”, Hospital da Luz, [online]. Disponível em: <http://www.hospitaldaluz.pt/pt/centros-especializados/centro-de-oncologia/tratamentos-oncologicos/radioterapia/> [acedido em Dezemb.ro 2014];
- [4] RadioOncologia do Hospital da Luz – “Relatório de 5 anos de evolução”, Setembro de 2013;
- [5] N. Slack, The Blackwell Encyclopedic Dictionary of Operations Management, Wiley Blackwell, 1999;
- [6] Broos Maenhout, Mario Vanhoucke (2011), *An evolutionary approach for the nurse rerostering problem*, Computers & Operations Research 38, 1400-1411;
- [7] Moz and Pato (2003), *An integer multicommodity flow model applied to the rerostering of nurse rosters*, Annals of Operations Research 119, 285-301;
- [8] Moz and Pato (2004), *Solving the problem of rerostering nurse rosters with hard constraints: new multicommodity flow models*, Annals of Operations Research 128, 179-197;
- [9] Brecht Cardoen, Erik Demeulemeester, Jeroen Beliën (2010), *Operating room planning and scheduling: A literature review*, European Journal of Operational Research 201, 921-932;

- [10] Dobrila Petrovic, Mohammad Morshed, Sanja Petrovic (2011), *Multi-objective genetic algorithms for scheduling of radiotherapy treatments for categorised cancer patients*, Expert Systems with Applications volume 38, 6994-7002;
- [11] Dinh-Nguyen Pham, Andreas Klinkert (2008), *Surgical case scheduling as a generalized job shop scheduling problem*, European Journal of Operational Research 185, 1011-1025;
- [12] Edmund K. Burke, Pedro Leite-Rocha, Sanja Petrovic (2011), *An Integer Linear Programming Model for the Radiotherapy Treatment Scheduling Problem*, Automated Scheduling, Optimisation and Planning (ASAP) research group, School of Computer Science, University of Nottingham, Nottingham, UK.

Anexos

Anexo 1 – Escala Inicial

Nesta escala constam apenas os tipos de tratamentos dos pacientes que já tinham iniciado tratamento.

Horas	turno	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
7h45	0					
8h	1	Pulmão - VMAT	Pulmão - VMAT	Pulmão - VMAT	Pulmão - VMAT	Pulmão - VMAT
8h15	2	Próstata - IMRT - Stepnshoot	Próstata - IMRT - Stepnshoot	Próstata - IMRT - Stepnshoot	Próstata - IMRT - Stepnshoot	Próstata - IMRT - Stepnshoot
8h30	3	Próstata - IMRT - Stepnshoot	Próstata - IMRT - Stepnshoot	Próstata - IMRT - Stepnshoot	Próstata - IMRT - Stepnshoot	Próstata - IMRT - Stepnshoot
8h45	4					
9h	5	Próstata - VMAT	Próstata - VMAT	Próstata - VMAT	Próstata - VMAT	Próstata - VMAT
9h20	6					
9h40	7	Próstata - VMAT	Próstata - VMAT			
10h	8	Estômago - VMAT	Estômago - VMAT	Estômago - VMAT	Estômago - VMAT	Estômago - VMAT
10h20	9					
10h45	10	Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot				
11h	11	Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot	Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot	Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot		
11h20	12	Mama - VMAT (sem DIBH)	Mama - VMAT (sem DIBH)	Mama - VMAT (sem DIBH)	Mama - VMAT (sem DIBH)	Mama - VMAT (sem DIBH)
11h45	13	Mama - VMAT (sem DIBH)	Mama - VMAT (sem DIBH)			
12h	14					
Almoço	15					
13h30	16	Recto - IMRT - Stepnshoot	Recto - IMRT - Stepnshoot	Recto - IMRT - Stepnshoot	Recto - IMRT - Stepnshoot	Recto - IMRT - Stepnshoot
13h45	17	Recto - IMRT - Stepnshoot				
14h	18					
14h30	19	Mama - VMAT (DIBH)	Mama - VMAT (DIBH)	Mama - VMAT (DIBH)	Mama - VMAT (DIBH)	Mama - VMAT (DIBH)
15h	20	Mama - VMAT (DIBH)	Mama - VMAT (DIBH)	Mama - VMAT (DIBH)		
15h15	21					
15h30	22	Recto - VMAT	Recto - VMAT	Recto - VMAT	Recto - VMAT	Recto - VMAT
15h45	23	Recto - VMAT	Recto - VMAT	Recto - VMAT	Recto - VMAT	Recto - VMAT
16h	24					
16h15	25					

Quadro 7 – Escala inicial considerada antes de colocar os novos pacientes

Anexo 2 – Escala Final

Nesta escala os novos pacientes estão assinalados quer com o número correspondente (“Paciente # - tratamento”).

Horas	turno	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
7h45	0		Paciente 5 - Pulmão - VMAT	Paciente 5 - Pulmão - VMAT	Paciente 5 - Pulmão - VMAT	Paciente 5 - Pulmão - VMAT
8h	1	Pulmão - VMAT	Pulmão - VMAT	Pulmão - VMAT	Pulmão - VMAT	Pulmão - VMAT
8h15	2	Próstata - IMRT - Stepnshoot	Próstata - IMRT - Stepnshoot	Próstata - IMRT - Stepnshoot	Próstata - IMRT - Stepnshoot	Próstata - IMRT - Stepnshoot
8h30	3	Próstata - IMRT - Stepnshoot	Próstata - IMRT - Stepnshoot	Próstata - IMRT - Stepnshoot	Próstata - IMRT - Stepnshoot	Próstata - IMRT - Stepnshoot
8h45	4				Paciente 14 - Próstata - IMRT - Stepnshoot	Paciente 14 - Próstata - IMRT - Stepnshoot
9h	5	Próstata - VMAT	Próstata - VMAT	Próstata - VMAT	Próstata - VMAT	Próstata - VMAT
9h20	6	Paciente 2 - Próstata - VMAT	Paciente 2 - Próstata - VMAT	Paciente 2 - Próstata - VMAT	Paciente 2 - Próstata - VMAT	Paciente 2 - Próstata - VMAT
9h40	7	Próstata - VMAT	Próstata - VMAT	Paciente 12 - Próstata - VMAT	Paciente 12 - Próstata - VMAT	Paciente 12 - Próstata - VMAT
10h	8	Estômago - VMAT	Estômago - VMAT	Estômago - VMAT	Estômago - VMAT	Estômago - VMAT
10h20	9	Paciente 1 - Estômago - VMAT	Paciente 1 - Estômago - VMAT	Paciente 1 - Estômago - VMAT	Paciente 1 - Estômago - VMAT	Paciente 1 - Estômago - VMAT
10h45	10	Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot	Paciente 6 - Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot	Paciente 6 - Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot	Paciente 6 - Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot	Paciente 6 - Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot
11h	11	Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot	Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot	Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot	Paciente 13 - Próstata - VMAT	Paciente 13 - Próstata - VMAT
11h20	12	Mama - VMAT (sem DIBH)	Mama - VMAT (sem DIBH)	Mama - VMAT (sem DIBH)	Mama - VMAT (sem DIBH)	Mama - VMAT (sem DIBH)
11h45	13	Mama - VMAT (sem DIBH)	Mama - VMAT (sem DIBH)			
12h	14		Paciente 9 - Mama - VMAT (sem DIBH)	Paciente 9 - Mama - VMAT (sem DIBH)	Paciente 9 - Mama - VMAT (sem DIBH)	Paciente 9 - Mama - VMAT (sem DIBH)
Almoço	15		Paciente 7 - Recto - IMRT - Stepnshoot	Paciente 7 - Recto - IMRT - Stepnshoot	Paciente 7 - Recto - IMRT - Stepnshoot	Paciente 7 - Recto - IMRT - Stepnshoot
13h30	16	Recto - IMRT - Stepnshoot	Recto - IMRT - Stepnshoot	Recto - IMRT - Stepnshoot	Recto - IMRT - Stepnshoot	Recto - IMRT - Stepnshoot
13h45	17	Recto - IMRT - Stepnshoot	Paciente 8 - Recto - IMRT - Stepnshoot	Paciente 8 - Recto - IMRT - Stepnshoot	Paciente 8 - Recto - IMRT - Stepnshoot	Paciente 8 - Recto - IMRT - Stepnshoot
14h	18			Paciente 10 - Mama - VMAT (DIBH)	Paciente 10 - Mama - VMAT (DIBH)	Paciente 10 - Mama - VMAT (DIBH)
14h30	19	Mama - VMAT (DIBH)	Mama - VMAT (DIBH)	Mama - VMAT (DIBH)	Mama - VMAT (DIBH)	Mama - VMAT (DIBH)
15h	20	Mama - VMAT (DIBH)	Mama - VMAT (DIBH)	Mama - VMAT (DIBH)		Paciente 15 - Mama - VMAT (DIBH)
15h15	21	Paciente 3 - Mama - VMAT (DIBH)	Paciente 3 - Mama - VMAT (DIBH)	Paciente 3 - Mama - VMAT (DIBH)	Paciente 3 - Mama - VMAT (DIBH)	Paciente 3 - Mama - VMAT (DIBH)
15h30	22	Recto - VMAT	Recto - VMAT	Recto - VMAT	Recto - VMAT	Recto - VMAT
15h45	23	Recto - VMAT	Recto - VMAT	Recto - VMAT	Recto - VMAT	Recto - VMAT
16h	24	Paciente 4 - Recto - VMAT	Paciente 4 - Recto - VMAT	Paciente 4 - Recto - VMAT	Paciente 4 - Recto - VMAT	Paciente 4 - Recto - VMAT
16h15	25			Paciente 11 - Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot	Paciente 11 - Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot	Paciente 11 - Otorrino - Corda Vocal - IMRT - Stepnshoot

Quadro 8 - Escala final após afetação dos tratamentos aos turnos